

大規模地震後の経過時間が崩壊発生限界雨量に及ぼす影響

信州大学大学院（現 砂防・地すべり技術センター）○高橋 和樹

信州大学学術研究院農学系 平松 晋也

1. はじめに

近年、我が国では熊本地震(2016年)や北海道胆振東部地震(2018年)などに代表される大規模地震が相次いで発生し甚大な土砂災害を引き起こしている。地震を誘因とする斜面崩壊に対しては、地震の突発性や発生頻度の少なから、地震発生前後の土質強度の変化特性の把握や崩壊現象の観測は困難である。このため、地震前後の土質強度や斜面安定性の変化を議論した研究事例は少ない。本研究は、火山地域で発生する大規模地震時に山腹斜面に作用する加速度が地震後の斜面の安定性や崩壊発生限界雨量に及ぼす影響とその影響期間を明らかにすることを目的として実施したものである。

2. 研究対象地

北海道胆振東部地震時に崩壊の集中した厚真町厚真川流域内の幌内地区に研究対象地を設定し、図-1に示す崩壊地源頭部で土層断面調査と簡易貫入試験を実施するとともに、同地点より採取した不攪乱供試体を用いた一面せん断試験と土壌物理試験を行った。土質試験と土層断面調査結果より、崩壊時のすべり面は新生代新第三紀の堆積岩類から成る基盤岩(200cm以深)の上部に10cm程度存在する粘土層内に位置する事実が明らかとなった。

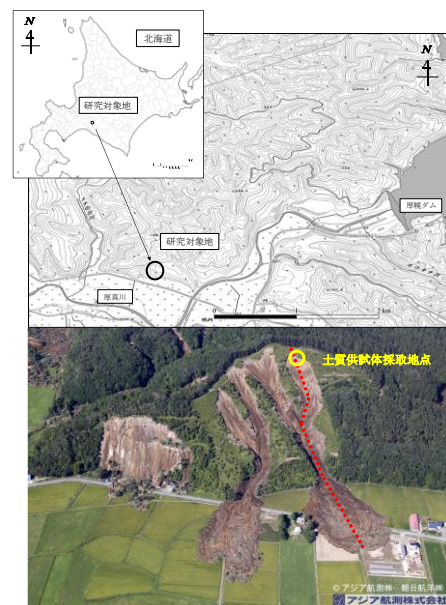
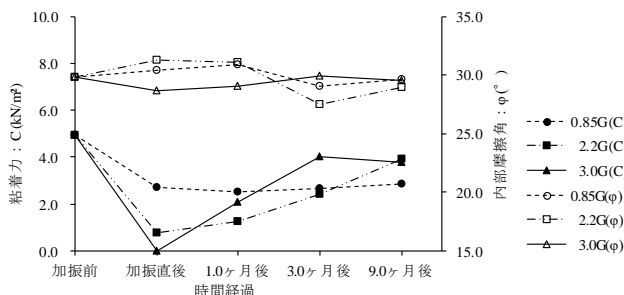


図-1 研究対象地(アジア航測株式会社撮影)

3. 地震発生後の土質強度の変化

地震時に作用する加速度と土質強度との関係を明らかにするため、すべり面と判断された粘土層(深度200cm)から採取した不攪乱供試体を用いて、加速度試験と一面せん断試験を実施した。北海道胆振東部地震時には1.83G(K-NET:追分観測所)の最大加速度が記録され、300gal以上の加速度が10.71秒間継続した事実を勘案し、試薬攪拌用振とう機を使用して供試体のせん断面に対して水平方向に0.85G, 2.2G, 3.0Gの加速度をそれぞれ9秒間与えた。その後、加振直後の供試体と加振後に所定の期間(1.0, 3.0, 9.0ヶ月)屋外に埋設した供試体とに対して「一面せん断試験」を実施することにより、加振後の土質強度(粘着力:C, 内部摩擦角: ϕ)の変化特性を把握した。

図-2 加振(地震)後の時間経過と土質強度(C, ϕ)との関係

地震発生後の時間経過ともなう土質強度の変化を示す図-2より、地震発生直後の内部摩擦角: ϕ には大きな変化が認められないのに対し、粘着力:Cは加速度の増加とともに大幅に低下していることがわかる。また、加速度を与えた直後(0M)に大きく低下した粘着力:Cは、加振後1.0ヶ月(1M)~9.0ヶ月(9M)経過すると、0.85Gの加速度を与えた場合には顕著な回復傾向がみられなかったのに対し、2.2Gの加速度を与えた場合には 4.98kN/m^2 (加振前) $\rightarrow 0.84\text{kN/m}^2$ (0M) $\rightarrow 1.26\text{kN/m}^2$ (1M) $\rightarrow 2.43\text{kN/m}^2$ (3M) $\rightarrow 3.91\text{kN/m}^2$ (9M)と、加振9ヶ月経過すると加振前の80%程度にまで回復していることがわかる。さらに、3.0Gの加速度を与えた場合には 4.98kN/m^2 (加振前) $\rightarrow 0\text{kN/m}^2$ (0M) $\rightarrow 2.08\text{kN/m}^2$ (1M) $\rightarrow 4.00\text{kN/m}^2$ (3M) $\rightarrow 3.77\text{kN/m}^2$ (9M)へと加振後3.0ヶ月経過した時点で、粘着力が加振前の80%程度にまで回復するものの、9.0ヶ月が経過してもその後の回復は認められなかった。

4. 地震の加速度が斜面の安定性や崩壊発生限界雨量に及ぼす影響

地震時に作用する加速度が斜面の安定性に及ぼす影響を定量的に把握することを目的として、図-1中の崩壊地中央に点線で示した縦断側線の地震前後の標高データを用いて作成したモデル断面(図-3)に対して、飽和一不飽和浸透流解析と斜面安定解析を実施した。解析入力降雨波形は、1981年8月3~6日に厚真町で観測された実績降雨波形を基に作成した図-4に示す中央集中型の降雨波形(総降雨量:286mm, 最大時間雨量20mm/hr)である。モデル断面の土層厚は、崩壊地源頭部周辺で実施した土層断面調査と斜面調査用簡易貫入試験結果を

考慮し、崩壊地源頭部から遷急点付近まで:2m, 遷急点から下方:3mと設定した。斜面の安全率は、図-3に示す解析対象斜面(モデル断面)を3m間隔で19分割し、遷急点付近から斜面上端までのNo9~No19ブロックに対して求めた。解析では複数ブロックのすべり力と抵抗力を積算し、積算するブロック範囲を変化させることによりNo9~No19の任意の斜面範囲についての安全率を求めた。

2.2Gの加速度が作用した場合のNo13ブロックを例として、飽和-不飽和浸透流解析によって得られた地下水深とブロック単体での安全率の経時変化を図-4に示す。降雨の浸透による土塊重量の増加によって緩やかに低下しはじめた安全率は、地下水深の発生により急激に低下していることがわかる。また、加振直後に大きく低下した安全率:Fsが加振後の時間経過とともに回復するようになり、9ヶ月経過すると崩壊が発生しなくなっていることがわかる。

本研究では、北海道胆振東部地震により多発した崩壊地の形状等を考慮し、安定解析でのブロック数が4個以上(崩壊長:12m以上)のケースを対象として、全ケース中で最も早く安全率が1.0を下回った時点までの累加雨量を崩壊発生限界雨量と定義した。また、加振前の土質強度を用いた場合(0G)には安全率が1.0を下回らなかったため、最小安全率を示した時点までの累加雨量を崩壊発生限界雨量と仮定した。加振前(0G)を基準として崩壊発生限界雨量の低下率を(1)式により求めた。

$$\text{崩壊発生限界雨量の低下率(\%)} = \frac{Rc(\alpha G, \beta) - Rc(0G)}{Rc(0G)} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $Rc(\alpha G, \beta)$: 加速度 $\alpha(G)$ が作用した後 β ヶ月が経過した場合の崩壊発生限界雨量(mm), $Rc(0G)$: 加速度が作用しない場合の崩壊発生限界雨量(mm)である。

加振後の時間経過と崩壊発生限界雨量との関係を示す図-5より、加振直後の限界雨量は加速度の増加とともに0.85G:221.1mm→217mm, 2.2G:221.1mm→153.5mm, 3.0G:221.1mm→130mmと大幅に減少し、限界雨量の低下率はそれぞれ-1.8%(0.85G), -30.6%(2.2G), -41.2%(3.0G)となった。また加振後の時間経過ともなう崩壊発生限界雨量の変化に着目すると、0.85Gの加速度を与えた場合の限界雨量には顕著な変化はみられず、加振後9か月経過しても崩壊が発生する結果となった。2.2Gの加速度を与えた場合には限界雨量が1か月後:221.1mm→190.8mm, 3か月後:221.1mm→183.7mmと、時間経過とともに斜面の安定性は回復し、加振後9か月が経過すると加振前の限界雨量と同等となり想定した降雨では崩壊が発生しない結果となった。さらに3.0Gの加速度を与えた場合、加振後3か月以上経過すると想定降雨では崩壊が発生することがなくなるといった興味深い結果が得られた。

5. おわりに

北海道胆振東部地震(最大震度 7, 1.83G)と同規模の加速度(2.2G)が作用した場合、地震直後の崩壊発生限界雨量は地震前と比較して-30%以上も低下するものの、地震発生後 9.0 ヶ月経過すると地震前と同等にまで回復するといった事実が明らかになった。国土交通省は、大規模地震発生後の警戒避難基準雨量の暫定的な引き下げ基準を示し、「震度 5 強を観測した地域では 2 割、震度 6 弱以上を観測した地域では 3 割減ずる(国土交通省 HP)」とする運用方針を示し、北海道胆振東部地震ではこの基準を 1 年 6 ヶ月間継続して運用した。この暫定基準の運用と本研究で得られた結果とを比較すると、国土交通省の示した引き下げ幅は概ね妥当と判断されるものの運用期間については今後検討が必要であろう。

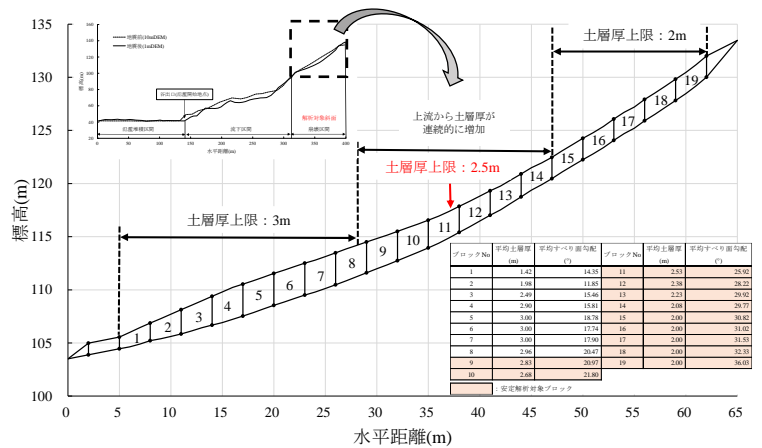


図-3 解析対象断面

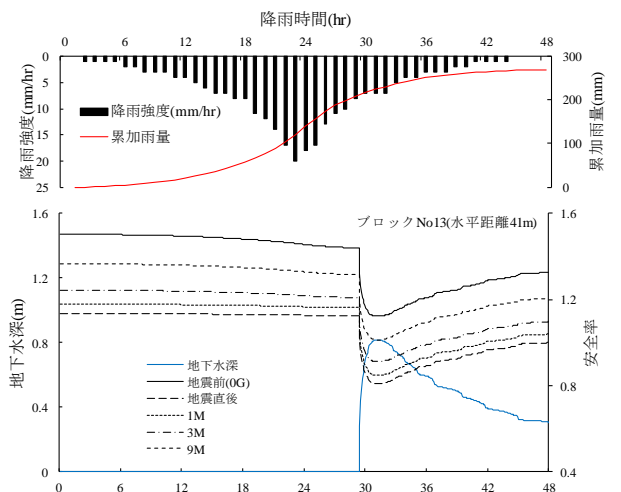


図-4 加振後の時間経過ともなう安全率の挙動(No13ブロック, 2.2G)

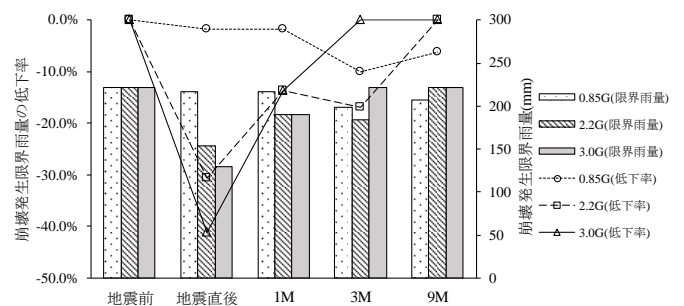


図-5 崩壊発生限界雨量の変化